

ANALISA SISTEM PROTEKSI PETIR (*LIGHTNING PERFORMANCE*) PADA SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI (SUTT) 150 KV SENGKOL-PAOKMOTONG

Analysis Of Lightning Protection System (Lightning Performance) In Sengkol-Paokmotong 150 Kv High Voltage Transmission System

Tatik Muliani¹, Ni Made Seniari², Agung Budi Muljono³

ABSTRAK

Sambaran petir merupakan ancaman yang sangat serius dalam sistem tenaga listrik karena dapat menyebabkan terganggunya kontinuitas penyaluran tenaga listrik. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari sistem proteksi petir pada saluran transmisi dengan melakukan analisa daerah proteksi petir dan lightning performance. Metode untuk menganalisa daerah proteksi petir adalah metode bola bergulir (*rolling sphere*). Untuk mengetahui nilai lightning performance digunakan teori gelombang berjalan dan elektrogeometris. Gelombang berjalan adalah gelombang yang merambat pada kawat yang disebabkan oleh sambaran petir langsung pada kawat, sambaran petir tidak langsung, operasi pemutusan (*switching*) dan gangguan-gangguan pada sistem karena berbagai kesalahan. Teori elektrogeometris adalah teori yang mengaitkan hubungan antara sifat listrik sambaran petir dengan geometri sistem penangkal petir. Saluran transmisi 150 kV Sengkol-Paokmotong menggunakan saluran ganda dengan menara tipe AA4 konfigurasi vertikal, diperoleh nilai lightning performance sebesar 1,3959 gangguan per 100 km per tahun. Sehingga memiliki penilaian keandalan lightning performance dengan kualifikasi pentanahan dan perlindungan terhadap sambaran petir yang baik atau memadai, sehingga tidak perlu dilakukan perbaikan. Daerah proteksi dengan metode bola bergulir, bola dengan radius 67,65 meter menyentuh tanah dan kawat tanah tanpa mengenai daerah proteksi. Sistem proteksi petir yaitu kawat tanah (*overhead ground wire*) telah membentuk daerah proteksi pada saluran transmisi, dan daerah sejauh 62,61 meter disekitar saluran transmisi.

Kata Kunci : *Lightning performance, Bola bergulir, Kegagalan perisai, Kawat tanah*

ABSTRACT

This research has been held to understand lightning protection system's performance in high voltage transmission system by analyzing lightning protection area and lightning performance. Method that used to analyze lightning protection area called rolling sphere method. Lightning performance values are find out using traveling wave and electro-geometric theory. Sengkol-Paokmotong 150kV transmission system using dual channel and type AA4 vertical configuration tower shows lightning performance about 1.3959 disturbance for every 100 Km per year that makes lightning performance reliability rating have a good or fair grounding and shielding qualification. In case the protection area which using rolling sphere method, 67.65 meters radius sphere sweep the ground and ground wire without touching protection area. Lightning protection system, which is ground wire, has been formed protection area in transmission system and within 62.61 meters around the transmission line.

Keywords : *Lightning performance, Rolling Sphere, Shielding failures, Ground wire*

PENDAHULUAN

Sambaran petir merupakan ancaman yang sangat serius dalam sistem tenaga listrik. Sambaran petir dibagi menjadi dua, yaitu sambaran langsung dan tidak langsung. Keduanya dapat menyebabkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat terganggu. Sambaran petir langsung terdiri dari dua macam, yaitu sambaran pada kawat tanah dan sambaran pada kawat fasa atau kegagalan perisai. Untuk mencegah hal ini terjadi, diperlukan sistem perlindungan terhadap sambaran petir pada saluran

transmisi yang seoptimal mungkin. Saluran transmisi juga harus memiliki tingkat *lightning performance* yang baik. *Lightning performance* merupakan probabilitas kegagalan suatu proteksi yang disebabkan oleh gangguan petir dalam satuan gangguan per 100 km per tahun.

Meninjau pentingnya sistem proteksi petir pada saluran transmisi, maka pada penelitian ini diambil sebagai studi kasus adalah Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sengkol-Paokmotong. Saluran ini dibangun pada tahun 2010 dan

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram, jln Majapahit 62 Mataram-Nusa Tenggara Barat
Email : 1. tatikmuliani92@gmail.com, 2. seniari2012@gmail.com

dioperasikan pada tahun 2014 dengan panjang saluran 38,734 km. Dengan mulai dioperasikannya sistem saluran transmisi tersebut, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kinerja dari sistem proteksi petir. Pada SUTT tersebut digunakan kawat tanah (*overhead groundwire*) sebagai perlindungan dari sambaran petir. Untuk mengetahui kinerja dari sistem proteksi petir, maka perlu dilakukan analisa daerah proteksi petir dan *lightning performance* pada SUTT tersebut.

Untuk menyelesaikan tugas akhir ini, metode yang digunakan untuk menganalisa daerah proteksi petir pada SUTT 150 kV Sengkol-Paokmotong adalah bola bergulir (*rolling sphere*). Sedangkan untuk mengetahui nilai *lightning performance* digunakan teori gelombang berjalan dan elektrogeometris.

Berdasarkan penjelasan di atas maka pada penelitian ini akan dibahas "Analisa Sistem Proteksi Petir (*Lightning Performance*) pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sengkol-Paokmotong"

Gangguan Petir pada Saluran Transmisi.

Gangguan petir pada saluran transmisi ialah gangguan akibat sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung (sambaran induksi). Keduanya dapat menyebabkan kontinuitas penyaluran tenaga listrik dapat terganggu. Sambaran petir langsung terdiri dari dua macam, yaitu sambaran pada kawat tanah dan sambaran pada kawat fasa atau kegagalan perisaian (Hutauruk, 1991).

Jumlah gangguan petir pada saluran transmisi dapat dinyatakan sebagai:

$$N_o = N_{SF} + N_t + N_q + N_m \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan,

N_o = jumlah gangguan petir pada saluran transmisi.

N_{SF} = jumlah kegagalan perisaian.

N_t = jumlah gangguan petir pada menara.

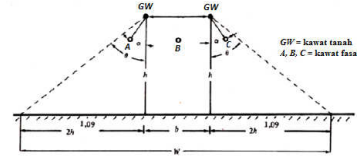
N_q = jumlah gangguan petir pada seperempat gawang.

N_m = jumlah gangguan petir pada setengah gawang.

Perlindungan Saluran Transmisi dari Sambaran Petir.

Suatu saluran transmisi di atas tanah dapat dikatakan membentuk bayang-bayang listrik pada tanah yang berada di bawah saluran transmisi itu. Lebar bayang-bayang listrik untuk suatu saluran transmisi telah diberikan oleh Whitehead seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Lebar bayang-bayang W dirumuskan :

$$W = (b + 4h^{1,09}) \text{ meter} \dots\dots\dots(2)$$



Gambar 1. Lebar jalur perisaian terhadap sambaran petir (Hutauruk, 1991)

Jumlah Sambaran Petir ke Saluran Transmisi.

Jumlah sambaran petir ke bumi adalah sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun atau "Iso Keraunic Level" (IKL) di tempat itu.

Untuk Indonesia Hutauruk mengusulkan menggunakan,

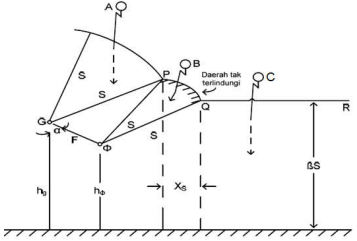
$$N = 0,15 \text{ IKL} \dots\dots\dots(3)$$

Jadi jumlah sambaran pada saluran transmisi sepanjang 100 km adalah,

$$N_L = 0,015 \text{ IKL} (b + 4h^{1,09}) \dots\dots\dots(4)$$

Kegagalan Perisaian.

Bila sambaran petir mendekati pada jarak S dari saluran dan bumi, sambaran petir itu dipengaruhi oleh benda apa saja yang berada di bawah dan melompati jarak S untuk mengadakan kontak dengan benda itu. Jarak S disebut jarak sambaran, dan inilah konsep dari teori elektro-geometris itu (Hutauruk, 1991).



Gambar 2. Perisaian tidak sempurna, X_s daerah tidak terlindungi (Hutauruk, 1991)

Probabilitas arus melebihi arus tertentu I telah diberikan dalam persamaan (5).

$$P_I = e^{-I/34} \dots\dots\dots(5)$$

Jadi bila probabilitas arus melebihi arus minimum dan arus maksimum diberikan oleh P_{min} dan P_{maks} , maka jumlah kegagalan perisaian per 100 km per tahun adalah :

$$N_{SF} = 0,015 \text{ IKL} X_s (P_{min} - P_{maks}) \dots\dots\dots(6)$$

Gangguan Petir pada Menara.

Untuk menghitung gangguan petir pada menara, yaitu gangguan karena lompatan api balik (*back flashover*), digunakan teori gelombang berjalan.

Dengan anggapan bahwa jumlah sambaran pada menara 60% dari seluruh sambaran, maka jumlah gangguan pada menara N_t (Hutauruk, 1991):

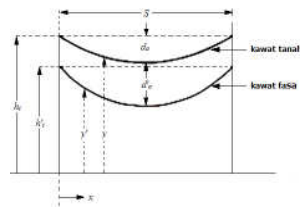
$$N_t = 0,85 \times 0,6 \times N_L \times P_{FL} \text{ untuk SUTT} \dots\dots\dots(7)$$

Gangguan Petir pada Seperempat Jarak dan Setengah Jarak Dari Menara Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi. Pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET), dan saluran udara tegangan ultra tinggi (SUTUT), gangguan pada seperempat dan setengah jarak dari menara diabaikan. Hal itu dapat dilakukan karena jarak-jarak aman antara kawat fasa dan kawat tanah dan kawat fasa ke kawat fasa sangat besar sehingga kekuatan impuls isolasi dari udara di tempat-tempat tersebut cukup besar untuk mencegah terjadinya lompatan api. Tetapi pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sampai 230 kV, sambaran petir di tempat-tempat itu masih mungkin menyebabkan lompatan api.

Jarak vertikal antara kawat tanah dan kawat fasa diperoleh dengan memisalkan lengkung kawat itu memenuhi persamaan parabola, Gambar 3.

Jadi bila :

- d_o = andongan maksimum kawat tanah (m)
- d_o' = andongan maksimum kawat fasa (m)
- b = jarak vertikal antara kawat tanah dan kawat fasa (m)
- b_m = jarak vertikal antara kawat tanah dan kawat fasa di tengah-tengah gawang (m)
- b_q = jarak vertikal antara kawat tanah dan kawat fasa di seperempat gawang (m)



Gambar 3. Kawat tanah dan kawat fasa dari kawat transmisi (Hutauruk, 1991)

Maka :

$$b_q = \left(h_t - \frac{d_o}{4} \right) - \left(h_t' - \frac{d_o'}{4} \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$b_m = (h_t - d_o) - (h_t' - d_o') \dots\dots\dots (9)$$

Bila p = jarak horizontal antara kawat tanah dan kawat fasa (meter), maka jarak antara kawat tanah dan kawat fasa :

$$d_q = \sqrt{b_q^2 + p^2} \text{ meter} \dots\dots\dots (10)$$

$$d_m = \sqrt{b_m^2 + p^2} \text{ meter} \dots\dots\dots (11)$$

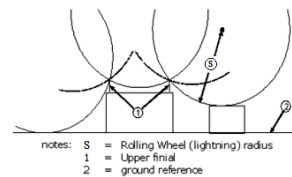
Jarak-jarak d_q dan d_m menentukan berapa gangguan pada seperempat dan setengah jarak dari menara. Banyak gangguan yang diperoleh harus lagi dikalikan dengan 0,3 untuk memperoleh gangguan pada seperempat jarak dari menara, N_q , dan

dengan 0,1 untuk memperoleh gangguan pada setengah jarak dari menara, N_m (Hutauruk, 1991).

Metode Bola Bergulir. Metode bola bergulir baik digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius S yang bergulir di atas tanah, sekeliling struktur dan di atas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar (Gambar 4). Titik sentuh bola bergulir pada struktur adalah titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak S dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan (Hutagaol, 2009).

Besarnya S berhubungan dengan besar arus petir yang dinyatakan dengan Persamaan (12) :

$$S = 6,7 I^{0,8} \text{ meter} \dots\dots\dots (12)$$



Gambar 4 Daerah proteksi dengan metode bola bergulir (Hutagaol, 2009)

Daerah proteksi yang dapat terlindungi oleh adanya penangkal petir dapat dihitung menggunakan Persamaan (13) (Zainullah, 2009).

$$R_a = \sqrt{h_1(2d - h_1)} \dots\dots\dots (13)$$

METODE PENELITIAN

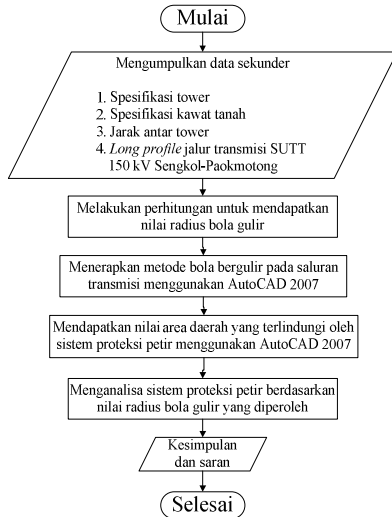
Metode Penelitian. Penelitian ini membahas tentang penerapan metode perlindungan bola bergulir (*rolling sphere*) untuk mengetahui daerah proteksi petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Sengkol-Paokmotong. Untuk perhitungan *lightning performance* menggunakan teori gelombang berjalan dan elektrogeometris.

Data penelitian. Penelitian ini menggunakan data-data dari PT. PLN (Persero) UPK KITRING NUSRA II Mataram dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kediri. Meliputi data spesifikasi tower, spesifikasi penghantar, spesifikasi isolator, spesifikasi kawat tanah, tahanan kaki menara, *long profile* jalur transmisi SUTT 150

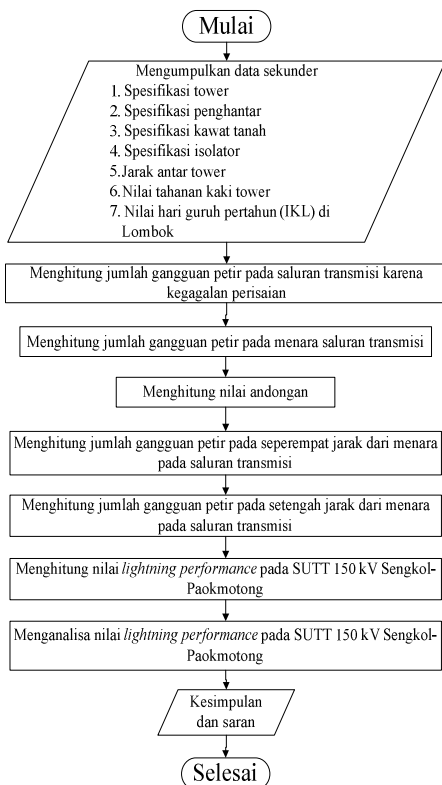
kV Sengkol-Paokmotong, dan *Iso Keraunic Level (IKL)* di Lombok.

Proses penelitian meliputi : Pengumpulan data, membuat program untuk perhitungan *lightning performance* menggunakan perangkat lunak (*software*) MATLAB R2009a, pengolahan data untuk analisa daerah proteksi petir dan perhitungan *lightning performance*.

Alur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5 Diagram alir analisa daerah proteksi dengan menggunakan metode bola bergulir



Gambar 6 Diagram alir analisa lightning performance

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter Transmisi 150 kV Sengkol-Paokmotong. Transmisi 150 kV Sengkol-Paokmotong merupakan bagian dari sistem interkoneksi Lombok. Transmisi ini berjarak 38.734 meter (38,734 km) dan ditopang oleh menara sebanyak 115 unit. Transmisi ini menggunakan saluran ganda.

Kawat Tanah

Material : Galvanized Steel Wire
Jumlah : 2 buah
Diameter : 9,6 mm

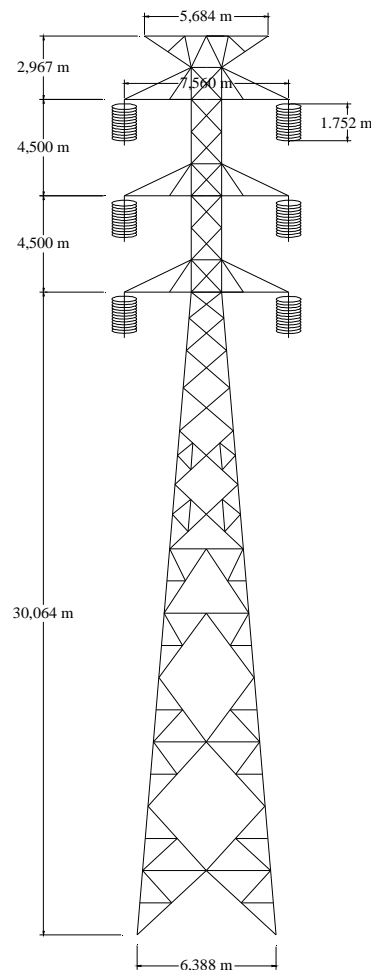
Konduktor

Material : ACSR 240 mm²
Diameter : 21,9 mm
Berat konduktor : 0,987 kg/m
Tegangan mendatar : 8640 kg

Isolator

Material : Glass
Panjang isolator : 146 mm
Jumlah : 12 buah

Menara



Gambar 7 Menara transmisi tipe AA4 Sengkol-Paokmotong

(Sumber : PT PLN (Persero) UPK KITRING NUSRA II Mataram)

Perhitungan Kegagalan Perisaian. Langkah-langkah perhitungan kegagalan perisaian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan kegagalan perisaian

No	Rumus	Hasil
		G 42,031
		R 36,912
1	$h = h_t$ (m)	S 32,412
		T 27,912
2	$V_{50\%} = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0,75}} \right) \times 10^3$ (kV)	585,2017
		R 0,055
3	$R_c \ln \left(\frac{2h}{R_c} \right) = \frac{V_{50\%}}{E_0}$ (m)	S 0,056
		T 0,057
		R 478,1006
4	$Z_\phi = 60 \sqrt{\ln \frac{2h}{r} \ln \frac{2h}{R_c}}$ (Ω)	S 469,6601
		T 460,0514
		R 2,448
5	$I_{min} = \frac{2V_{50\%}}{Z_\phi}$ (kA)	S 2,492
		T 2,5441
		R 13,7129
6	$S_{min} = 6,7 I_{min}^{0,8}$ (m)	S 13,9097
		T 14,1416
		R 0,93864
7	$X_s = S (1 + \sin (\alpha_s - \omega))$ (m)	S 1,3969
		T 2,393
		R 48,15
8	$S_{maks} = Y_0 \left(\frac{-B_s - \sqrt{B_s^2 + A_s C_s}}{A_s} \right)$ (m)	S 41,222
		T 37,454
		R 11,767
9	$I_{maks} = \left(\frac{S_{maks}}{6,7} \right)^{\frac{1}{0,8}}$ (kA)	S 9,69
		T 8,5958
		R 0,93053
10	$P_{min} = e^{-\frac{I_{min}}{34}}$	S 0,92933
		T 0,92791
		R 0,7075
11	$P_{maks} = e^{-\frac{I_{maks}}{34}}$	S 0,752
		T 0,7766
		R 0,08857
12	$N_{SF} = 0,015 \text{ IKL } X_s (P_{min} - P_{maks})$ (gangguan/100 km/tahun)	S 0,10478
		T 0,15315

Keterangan: G = kawat tanah
R, S, T = kawat fasa

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh jumlah gangguan petir karena kegagalan perisaian sebesar 0,34649 gangguan/100 km/tahun.

Perhitungan Gangguan Petir pada Menara Transmisi. Langkah-langkah perhitungan gangguan petir pada menara transmisi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan gangguan petir pada menara transmisi

No	Rumus	Hasil
		302,9142
1	$Z_g = \frac{Z_{11} + Z_{12}}{2}$ (Ω)	
	$K_T = \frac{Z_{T1} + Z_{T2}}{Z_{11} + Z_{12}}$	0,30734
2	$Z_t = 30 \ln \left[\frac{2(h_t^2 + r^2)}{r^2} \right]$ (Ω)	175,5952
	$a = \frac{2 Z_g}{Z_g + 2 Z_t}$	0,9262
3	$b = a - 1$	-0,0738
4	$e = \frac{Z_g Z_t}{Z_g + 2 Z_t} I_s$	81,3177
5	$d = \frac{R - Z_t}{R + Z_t}$	-0,98248
6	$V_{i(60)}^*$ (kV)	579,08
7	$A = 0,1(b + 4h_t^{1,09})$ (km ² /100 km saluran)	24,1054
8	$N_L = 0,15 \text{ IKL} \times A$ (sambaran/100km/tahun)	1019,6581
9	$N_t = \eta \times 0,6 \times N_L \times P_{FL}$ (gangguan/100km/tahun)	0,58243

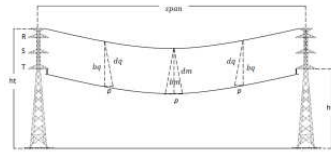
* Tegangan pada isolator untuk arus petir 60 kA dan waktu muka gelombang petir 1,0 μ det.

$$V_i = e_o \left\{ (1 - K) T + d \left[\left\{ T - 2 \left(\frac{h_t}{c} - \frac{x_1}{c} \right) \right\} + (b - K a) \left(T - \frac{2h_t}{c} \right) \right] + d^2 b \left[\left\{ T - 2 \left(\frac{2h_t}{c} - \frac{x_1}{c} \right) \right\} + (b - K a) \left(T - \frac{4h_t}{c} \right) \right] + d^3 b^2 \left[\left\{ T - 2 \left(\frac{3h_t}{c} - \frac{x_1}{c} \right) \right\} + (b - K a) \left(T - \frac{6h_t}{c} \right) \right] \right\}$$

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh jumlah gangguan petir pada menara transmisi sebesar 0,58243 gangguan/100 km/ tahun.

Perhitungan Gangguan Petir pada Seperempat Jarak dan Setengah Jarak dari Menara. Pada saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET), dan saluran udara tegangan ultra tinggi (SUTUT), gangguan pada seperempat dan setengah jarak dari menara diabaikan. Hal itu dapat dilakukan karena jarak-jarak aman antara kawat fasa dan kawat tanah dan kawat fasa ke kawat fasa sangat besar sehingga kekuatan impuls isolasi dari udara di tempat-tempat tersebut cukup besar untuk mencegah terjadinya lompatan api.

Tetapi pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sampai 230 kV, sambaran petir di tempat-tempat itu masih mungkin menyebabkan lompatan api.



Gambar 8. Jarak antara kawat tanah dan kawat fasa pada seperempat (d_q) dan setengah (d_m) jarak dari menara

Data diketahui:

- $h_t = 42,031$ m
- $h_t' = 27,912$ m
- $d_o = 6,2136$ m
- $d_o' = 6,2136$ m
- $p = 0,938$ m
- Span = 336,817 m = 1105 ft
- IKL = 282

1. Perhitungan Jumlah Gangguan Petir pada Seperempat Jarak dari Menara (N_q)

$$b_q = \left(h_t - \frac{d_o}{4} \right) - \left(h_t' - \frac{d_o'}{4} \right) = 14,119 \text{ m}$$

$$d_q = \sqrt{b_q^2 + p^2} = 14,15 \text{ m} = 46,424 \text{ ft}$$

$$N_q = 0,3 \times \text{probabilitas} \times \frac{\text{IKL}}{30} \times 1/1,61$$

$$= 0,35 \text{ gangguan/100 km/tahun}$$

2. Perhitungan Jumlah Gangguan Petir pada Setengah Jarak dari Menara (N_m)

$$b_m = (h_t - d_o) - (h_t' - d_o') = 14,119 \text{ m}$$

$$d_m = \sqrt{b_m^2 + p^2} = 14,15 \text{ m} = 46,424 \text{ ft}$$

$$N_m = 0,1 \times \text{probabilitas} \times \frac{\text{IKL}}{30} \times 1/1,61$$

$$= 0,117 \text{ gangguan/100 km/tahun}$$

Perhitungan Nilai Lightning Performance pada SUTT. Untuk menghitung nilai *lightning performance* pada SUTT digunakan Persamaan (1).

$$N_o = N_{SF} + N_t + N_q + N_m$$

$$= 0,34649 + 0,58243 + 0,35 + 0,117$$

$$= 1,3959 \text{ gangguan/100 km/tahun}$$

Jadi nilai *lightning performance* yang diperoleh dari perhitungan untuk SUTT 150 kV Sengkol-Paokmotong adalah 1,3959 gangguan per 100 km per tahun yang artinya jumlah gangguan akibat sambaran petir adalah 1,3959 gangguan yang terjadi pada saluran transmisi per 100 km panjang saluran per tahun. Nilai keandalan *lightning performance* untuk 1,3959 gangguan per 100 km per tahun adalah *good or fair grounding; good or fair shielding*. Jadi SUTT 150 kV Sengkol Paokmotong memiliki pentanahan

dan perlindungan terhadap sambaran petir yang baik atau memadai, sehingga tidak perlu dilakukan perbaikan.

Perhitungan Area Daerah Proteksi dari Kawat Tanah. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui besarnya perlindungan dari sistem proteksi petir (kawat tanah), yaitu didasarkan pada besarnya area yang dilindungi sistem proteksi petir yang terpasang.

Berdasarkan prinsip elektroteometri bahwa besarnya radius bola bergulir (R) yaitu sama dengan besarnya jarak sambar (S) dari lidah petir. Jarak sambar dari lidah petir ini ditentukan oleh besarnya arus petir yang terjadi. Besarnya jarak sambaran petir dapat dihitung menggunakan Persamaan (12).

Diketahui: $I = 18$ kA

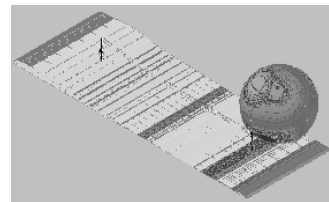
$$S = 6,7 I^{0,8} \text{ meter}$$

$$= 6,7 \times 18^{0,8} \text{ meter}$$

$$= 67,65 \text{ meter}$$

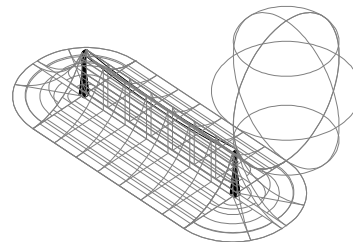
Dengan $S =$ jari-jari (R) bola bergulir, maka didapat besar jari-jari (R) bola bergulir adalah 67,65 meter.

Penerapan metode bola bergulir pada saluran transmisi Sengkol-Paokmotong dengan tipe tower AA4 dapat digambarkan sebagai berikut.

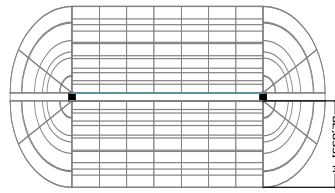


Gambar 9. Penerapan metode bola bergulir pada SUTT 150 kV Sengkol-Paokmotong

Jika bola dengan radius 67,65 meter ini digulirkan pada seluruh permukaan saluran transmisi, maka bola ini hanya akan menyentuh tanah dan atau kawat tanah (*ground wire*) saja. Daerah proteksi dari kawat tanah (*ground wire*) dapat diperlihatkan pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10 Daerah proteksi metode bola bergulir pada SUTT 150 kV Sengkol-Paokmotong dengan $R=67,65$ m tampak 3 dimensi



Gambar 11. Daerah proteksi metode bola bergulir pada SUTT 150 kV Sengkol-Paokmotong dengan $R=67,65$ m tampak atas

Berdasarkan analisa menggunakan metode bola bergulir, sistem proteksi petir yaitu kawat tanah (*ground wire*) telah membentuk daerah proteksi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 10 dan 11. Dapat dilihat pada gambar, seluruh bagian di saluran transmisi dan pada daerah sejauh 62,6351 meter di luar saluran transmisi akan terlindungi oleh sistem proteksi petir.

Daerah proteksi yang dapat terlindungi oleh adanya penangkal petir dapat dihitung menggunakan Persamaan (13).

Diketahui:

Tinggi penangkal dari tanah (h_1) = 42,031 m

Radius bola bergulir (d) = 67,65 m

$$R_a = \sqrt{h_1(2d - h_1)}$$

$$R_a = \sqrt{42,031(2 \times 67,65 - 42,031)}$$

$$R_a = 62,61 \text{ meter}$$

Berdasarkan pendekatan melalui dua sisi, yaitu grafis menggunakan AutoCAD dan perhitungan menggunakan Persamaan (2.49), diperoleh selisih sebesar 0,02351 meter. Jadi nilai daerah proteksi disekitar saluran transmisi menggunakan grafis dan perhitungan memiliki error yang sangat kecil yaitu 0,0375 %.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab-bab sebelumnya, dapat diambil beberapa kesimpulan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Perhitungan *lightning performance* untuk saluran transmisi 150 kV Sengkol-Paokmotong menggunakan saluran ganda dengan menara tipe AA4 konfigurasi vertikal, diperoleh:
 - Nilai gangguan petir karena kegagalan perisaian adalah 0,34649 gangguan per 100 km per tahun.

- Jumlah gangguan petir pada menara saluran transmisi adalah 0,58243 gangguan per 100 km per tahun.
- Banyak gangguan petir pada seperempat jarak dari menara adalah 0,35 gangguan per 100 km per tahun.
- Banyak gangguan petir pada setengah jarak dari menara adalah 0,117 gangguan per 100 km per tahun.

Jadi nilai *lightning performance* yang diperoleh dari perhitungan untuk SUTT 150 kV Sengkol-Paokmotong adalah 1,3959 gangguan per 100 km per tahun. Artinya jumlah gangguan akibat sambaran petir adalah 1,3959 gangguan yang terjadi pada saluran transmisi per 100 km panjang saluran per tahun. Nilai keandalan *lightning performance* untuk 1,3959 gangguan per 100 km per tahun adalah *good or fair grounding; good or fair shielding*.

2. Metode bola bergulir secara grafis menggunakan AutoCAD, bola dengan radius 67,65 meter menyentuh tanah dan kawat tanah tanpa mengenai daerah proteksi. Kawat tanah (*ground wire*) membentuk daerah proteksi 62,6351 meter, sedangkan dari Persamaan (2.49) diperoleh 62,61 meter daerah proteksi disekitar saluran transmisi. Jadi nilai daerah proteksi disekitar saluran transmisi menggunakan grafis dan perhitungan memiliki error yang sangat kecil yaitu 0,0375 %.

SARAN

1. Adanya perubahan iklim akibat pemanasan global dapat membuat nilai gangguan sambaran petir yang berbeda. Oleh karena itu, diharapkan di kemudian hari ada pihak-pihak yang dapat menghitung ulang gangguan secara periodik.
2. Penerapan dengan metode lain perlu ditambahkan, agar ada pembandingan dengan metode *Rolling Sphere*.
3. Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan analisa yang sama untuk saluran transmisi lain di sistem kelistrikan Lombok.
4. Perlu diperhatikan nilai IKL dan perhitungan sambaran ke tanah dari suatu daerah pada saat akan membangun menara SUTT, agar dapat dihitung terlebih dahulu nilai jumlah kegagalan yang dapat ditimbulkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Hutagaol, S.A., 2009. *Studi Tentang Sistem Penangkal Petir pada BTS (Base Transceiver Station) (Aplikasi pada PT. Telkomsel - Banda Aceh)*, Skripsi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Hutauruk, T.S., 1991. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*, Erlangga, Jakarta.
- Zainullah, 2009. *Evaluasi Sistem Proteksi Petir pada Gedung Rektorat UNRAM*, Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram.